

RASTREAMENTO INTELIGENTE DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA: uma revisão bibliográfica

Eliandro de S. JÚNIOR¹; Paulo C. Santos²;

RESUMO

Esta revisão apresenta uma análise sistemática e crítica sobre o rastreamento inteligente na produção agrícola, focada na segurança alimentar, otimização de processos e conformidade regulatória. A rastreabilidade emerge como ferramenta essencial, diferenciada do APPCC e da gestão da cadeia, e alinhada com normas globais como o Codex Alimentarius, ISO 22005 e os padrões GS1. A sinergia entre Internet das Coisas (IoT) para coleta de dados em tempo real, Inteligência Artificial (IA) para análise preditiva e Blockchain para garantir imutabilidade e transparência é destacada. A discussão crítica aborda as complexidades de custo total de propriedade (TCO), escalabilidade e o desafio de conciliar a imutabilidade do Blockchain com a LGPD, sugerindo o modelo de Blockchain privada para viabilidade econômica. Conclui-se que esta integração tecnológica é crucial para o desenvolvimento sustentável do setor, mas requer superação de desafios como a conectividade rural.

Palavras-chave: Segurança Alimentar; Rastreabilidade Agrícola; Inteligência Artificial; Internet das Coisas; Blockchain; Inovação.

1. INTRODUÇÃO

A Segurança Alimentar e Nutricional (SAN) é um pilar social que enfrenta crescentes desafios, como a insegurança alimentar agravada por crises. Nesse cenário, a rastreabilidade, que permite identificar a origem e a trajetória dos produtos, é fundamental, tendo sido tornada obrigatória para vegetais no Brasil pela Instrução Normativa Conjunta (INC) Nº 2/2018. Contudo, sua implementação, especialmente por pequenos produtores, esbarra em obstáculos como a falta de conhecimento e recursos. Diante dessa lacuna, esta revisão busca analisar a sinergia entre a IoT, a IA e o Blockchain, consolidando o conhecimento sobre como estas tecnologias promovem a segurança alimentar, otimizam processos e empoderam agricultores, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A rastreabilidade, que é a capacidade de seguir o histórico e a localização de um produto, deve ser claramente distinguida do APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle), que é uma metodologia preventiva de controle de perigos (EMBRAPA, 2025), e da Gestão da Cadeia de Suprimentos, que abrange o fluxo total de bens e informações. A rastreabilidade é uma ferramenta de apoio essencial à gestão e ao cumprimento da INC Nº 2/2018 (BRASIL, 2018; MORAES et al., 2021). Internacionalmente, a ISO 22005 estabelece o princípio "um-para-cima e um-para-baixo" (RINA, 2025), exigindo a identificação do fornecedor e do cliente imediatos, enquanto o Codex Alimentarius fornece os princípios gerais de segurança e higiene, orientando os processos de

¹Discente do Bacharel em Ciências da Computação, IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho.

²Orientador, IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho.

rastreio. O sistema GS1, com padrões como o GTIN e o QR Code Padrão GS1, é crucial para a padronização global e a interoperabilidade de dados, funcionando como o "passaporte digital" do produto, facilitando a adesão às exigências internacionais.

O desenvolvimento de soluções tecnológicas é uma forma de inovação que gera valor (SILVINO et al., 2020). A Internet das Coisas (IoT), que integra objetos físicos por meio de sensores (SANTOS et al., 2016), permite o monitoramento remoto de variáveis como umidade do solo e temperatura (MUNIZ, 2021) e a coleta massiva de dados em tempo real. A Inteligência Artificial (IA) processa esses dados para realizar análises preditivas (MONZANI et al., 2025), otimizando processos (como previsão de rendimento e incidência de pragas) (PINHEIRO et al., 2021) e permitindo a detecção de anomalias. Essa sinergia entre IoT e IA impulsiona a rastreabilidade (MONZANI et al., 2025). O Blockchain complementa o sistema ao atuar como um registro distribuído, garantindo que os dados coletados sejam seguros, imutáveis e transparentes (SANTOS, 2024; SILVA et al., 2025), eliminando a necessidade de intermediários e permitindo o uso de Contratos Inteligentes (Smart Contracts) para automatizar acordos (SANTOS, 2024). A aplicação dessas tecnologias na agricultura de precisão contribui para a gestão eficiente de recursos hídricos (MUNIZ, 2021) e para a redução de perdas na pós-colheita (LIMA et al., 2024).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente documento se configura como uma Revisão Bibliográfica Sistemática de caráter qualitativo, baseada em informações coletadas a partir de fontes primárias e secundárias. A busca por artigos, livros e documentos técnicos foi realizada no período de Janeiro de 2020 a Setembro de 2025 nas bases de dados acadêmicas Web of Science, Scopus, Google Acadêmico e Scielo. As strings de busca utilizadas incluíram combinações de "Rastreabilidade Agrícola", "Internet das Coisas", "Inteligência Artificial" e "Blockchain". Os critérios de inclusão definiram artigos completos, revisados por pares, focados na aplicação conjunta de duas ou mais das tecnologias citadas na cadeia agroalimentar. Foram excluídos resumos expandidos e documentos com foco em apenas uma tecnologia isolada. O material selecionado foi analisado para sintetizar o conhecimento existente e identificar as principais tendências e desafios. A pesquisa foi conduzida no contexto do Programa Institucional Campus Inteligente, com atividades executadas no LabSoft, vinculado ao IFSULDEMINAS Campus Muzambinho.

A presente pesquisa foi conduzida no contexto do Programa Institucional Campus Inteligente, com suas atividades executadas no Laboratório de Tecnologias de Software e Computação Aplicada à Educação (LabSoft), vinculado ao IFSULDEMINAS - Campus Muzambinho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A integração de IoT, Inteligência Artificial (IA) e Blockchain representa uma tendência consolidada para a rastreabilidade agrícola (SILVINO et al., 2020). A IoT possibilita o monitoramento remoto por meio de sensores (MUNIZ, 2021; SANTOS et al., 2016), e a IA processa esse volume de dados para análises preditivas, otimizando processos e aumentando a produtividade (MONZANI et al., 2025; PINHEIRO et al., 2021). O Blockchain complementa a sinergia, garantindo que os dados coletados sejam seguros, imutáveis e transparentes (SANTOS, 2024), o que é fundamental no contexto regulatório da rastreabilidade vegetal obrigatória pela INC Nº 2/2018 (BRASIL, 2018). A viabilidade econômica favorece o modelo de Blockchain privada para implementações em larga escala, pois estas não possuem custos com taxas de transação (SILVA et al., 2025).

Os estudos demonstram que esses sistemas auxiliam na gestão de recursos hídricos (MUNIZ, 2021) e contribuem para a otimização de insumos agrícolas (LIMA et al., 2024; MONZANI et al., 2025). A aplicação da rastreabilidade é vista como um fator crucial para atender à crescente demanda por alimentos e um diferencial competitivo para o agronegócio (MAZZOCHI, 2021). O uso de Contratos Inteligentes (Smart Contracts) é um componente da Blockchain que permite automatizar processos e garantir a execução de acordos de forma transparente (SILVA et al., 2025; SANTOS, 2024).

Apesar dos benefícios, a implementação enfrenta barreiras, como a falta de conhecimento e recursos, especialmente entre pequenos e médios produtores (MORAES et al., 2021). A comparação crítica aponta que a IoT exige um alto custo inicial em hardware e infraestrutura de conectividade (SANTOS et al., 2016; MUNIZ, 2021). Os desafios de implementação persistem, especialmente em aspectos como custos, conectividade e capacitação profissional (LIMA et al., 2024). A adoção de soluções de rastreamento inteligente é fundamental para o futuro da agricultura (RINA, 2025; GALINDO et al., 2022), contribuindo para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável (MAZZOCHI, 2021).

5. CONCLUSÃO

Esta revisão confirma a importância do rastreamento inteligente como uma resposta estratégica aos desafios da segurança alimentar e da gestão agrícola. A sinergia entre a coleta de dados da IoT, a segurança do Blockchain e a capacidade analítica da IA é crucial para transformar a cadeia produtiva em um ecossistema mais eficiente, transparente e sustentável. Contudo, persistem desafios de implementação, notadamente a falta de conectividade, os custos iniciais e a necessidade de capacitação profissional.

Como recomendações práticas, futuros trabalhos devem focar em estudos de caso para quantificar o TCO da Blockchain privada em diferentes culturas brasileiras e desenvolver modelos de Contratos Inteligentes em total conformidade com a LGPD. A superação dos desafios de

infraestrutura e governança é fundamental para catalisar o futuro de uma agricultura mais inteligente e próspera.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pela concessão das bolsas de Iniciação Científica, fundamentais para o desenvolvimento deste projeto, e ao IFSULDEMINAS pelo apoio institucional contínuo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Instrução Normativa Conjunta N° 2, de 7 de agosto de 2018. Dispõe sobre os procedimentos para a rastreabilidade de produtos vegetais frescos destinados à alimentação humana para fins de monitoramento e controle de resíduos de agrotóxicos. Brasília, DF: MAPA, 2018.

EMBRAPA. Sistema APPCC. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/uva-de-mesa/pos-producao/qualidade-e-producao-de-alimentos-seguros/sistema-appcc>. Acesso em: 29 jul. 2025.

GALINDO, E. et al. Efeitos da pandemia na alimentação e na situação da segurança alimentar no Brasil. Relatório de pesquisa. 2022.

LIMA, B. D. et al. Inovação no Agronegócio: O Uso de Tecnologias para o Apoio a Tomada de Decisões. Artigo científico, Faculdade Anhanguera, 2024.

MAZZOCHI, L. Análise sobre a importância da rastreabilidade para o agricultor e o consumidor. 2021. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021.

MONZANI, R. M. et al. Impactos da inteligência artificial nas Ciências Agrárias. Agropecuária Catarinense, v. 38, n. 1, p. 5-6, 2025.

MORAES, V. D. et al. O Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional: dinâmica de atuação e agenda (2006-2016). Ciência & Saúde Coletiva, v. 26, n. 12, p. 6175-6187, 2021.

MUNIZ, L. R. Internet das Coisas na Agricultura Moderna - Estudo da Integração entre Automação e Sensoriamento no Cultivo de Frutos no Nordeste Brasileiro. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - UFCE, Fortaleza, 2021.

PINHEIRO, R. M. et al. Inteligência artificial na agricultura com aplicabilidade no setor sementeiro. Diversitas Journal, v. 6, n. 3, p. 2984-2995, 2021.

RINA. Food Chain Traceability. Disponível em: <https://www.rina.org.br/food-chain-traceability>. Acesso em: 29 jul. 2025.

SANTOS, B. P. et al. Internet das coisas: da teoria à prática. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, v. 31, p. 16, 2016.

SANTOS, W. S. Desenvolvimento de uma Ferramenta de Rastreabilidade para o Setor Agrícola com IoT e Blockchain. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) - UFAL, Penedo, 2024.

SILVA, F. R. et al. Smart Contracts para Rastreamento da Agricultura Familiar. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, v. 1, p. 1-10, 2025.

SILVINO, Z. R. et al. Inovação tecnológica: perspectiva dialógica sob a ótica do Joseph Schumpeter. Research, Society and Development, v. 9, n. 6, e198963593, 2020.